

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СПИРОМЕТРИЧЕСКОГО ТУРБИННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОТОКА

Сокол Е.И., Кипенский А.В., Томашевский Р.С.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

кафедра «Промышленная и биомедицинская электроника»,
лаборатория биомедицинской электроники

НТУ «ХПИ», ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина

Тел.: (057) 70-76-237, 70-76-937, E-mail: moemulo@meta.ua

In report the main moment of forces impacting to rotor are analyzed. The transformation function of is analyzed. Finally, the conclusions static error of measurement using of turbine flow converter are made.

В современных спирографах в качестве преобразователя воздушного потока наиболее часто используются преобразователи турбинного типа. Особенно эффективно использование таких преобразователей в портативных спирографах [1].

Одной из проблем при использовании турбинного преобразователя потока (ТПП) в спирографах является сложность описания статической характеристики измерительной турбины (ИТ). В большинстве случаев статическая функция преобразования в упрощенном виде описывается линейной зависимостью. Такой подход приемлем в случае работы ТПП на больших расходах, так как при числах Рейнольдса более 2500, режим обтекания газа в полости ИТ становится турбулентным, и действительно описывается линейным законом. Однако, при использовании ТПП для нужд спирографии диапазон измерения расхода составляет от 0,1 до 14 л/с и охватывает три участка статической характеристики ИТ: ламинарный, переходной и турбулентный [2]. В этом случае пренебрежение нелинейным участком функции преобразования приводит к возникновению значительной погрешности измерений на малых расходах.

Для решения этой проблемы был проведен анализ основных сил, действующих на ротор ИТ. К таким силам могут быть отнесены: давление воздушного потока на плоскость пластин ротора, трение оси ротора в опорах, трение воздуха о внутреннюю поверхность ИТ и его трение о поверхность направляющего аппарата.

С учетом проведенного анализа и соответствующих преобразований, статическая характеристика ИТ была записана в виде

$$Q = a_1 + \frac{a_2}{T} + \frac{a_3}{\sqrt{T}}, \quad (1)$$

где $T = 1/f = 2\pi/\omega$ – период вращения ротора; a_1, a_2, a_3 , – коэффициенты, зависящие от геометрии турбины и свойств потока. Данное аналитическое выражение позволяет учитывать влияние на процесс преобразования основных составляющих сил движения и сопротивления.

Для проведения исследований ТПП был разработан и изготовлен экспериментальный стенд, структурная схема которого приведена на рисунке 1.

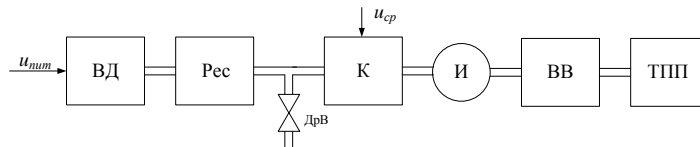


Рис. 1 Структурная схема экспериментального стенда

В качестве источника входного потока использована воздуходувка (ВД) турбинного типа, где регулирование расхода осуществлялось путем изменения напряжения питания u_{nmt} . Для сглаживания пульсаций воздушного потока использовался ресивер (Рес) объемом 50 л. Коммутация воздушного потока к измерительной части стенда осуществлялась с помощью клапана (К) быстрого срабатывания с электрическим управлением

(сигнал управления u_{cp}). Дроссельный клапан (ДрВ) служил для стравливания воздуха и дополнительного регулирования расхода. В качестве измерителей (И) расхода использовались высокоточные ротаметры типа VA 40. Поскольку динамический диапазон измерения данных ротаметров составляет 10:1, то необходимый диапазон измерения в лабораторном стенде был достигнут за счет использования трех ротаметров (максимальные значения измерений 0,22, 2,22 и 19,4 л/с соответственно), подключаемых поочередно. Такая комбинация измерительных приборов позволила обеспечить погрешность измерения расхода не более 1 % во всем диапазоне его изменения (0,1-14 л/с).

Для определения коэффициентов статической характеристика (см. (1)) была проведена серия экспериментальных исследований ТПП с двухканальным оптическим тахометрическим устройством [3] и измерительными турбинами производства фирмы Medical International Research (Рим, Италия). Исследования проводились с использованием трех ИТ на постоянных расходах в диапазоне 0,1-14 л/с.

По результатам экспериментальных исследований были построены статические характеристики ТПП для прямого направления воздушного потока (условно направление «выдоха»). На рис. 2 кривая 1 соответствует статической характеристике турбины № 1, кривая 2 – характеристике турбины № 2, а кривая 3 – турбины № 3. Аналогичные характеристики получены и для обратного направления потока (условно «вдох»).

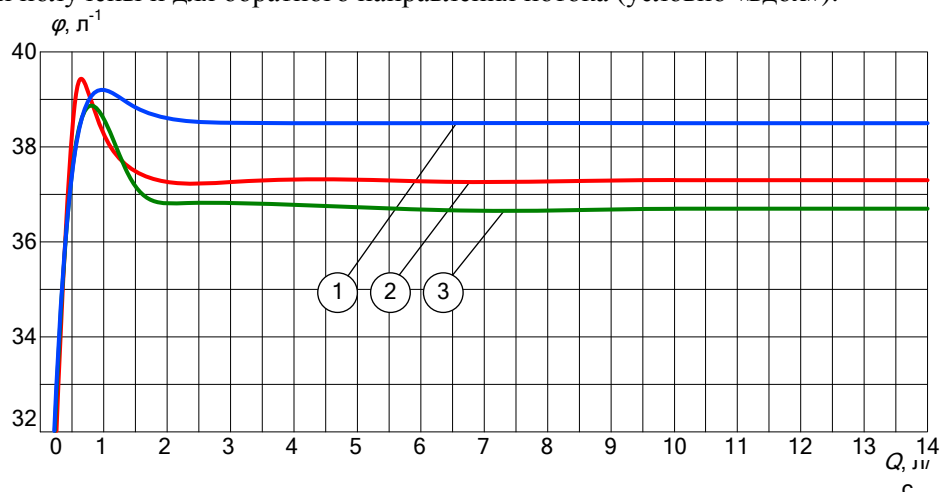


Рис. 2 Статические характеристики турбинных преобразователей MIR

Анализ полученных статических характеристик показал, что коэффициент передачи ϕ на большей части рабочего диапазона постоянен и у различных измерительных турбин не отличается более чем на 3 %. Зона переходного участка от ламинарного потока к турбулентному на характеристике находится в области точки $Q = 1$ л/с.

По полученным экспериментальным зависимостям в пакете MathCad были рассчитаны значения коэффициентов a_1 , a_2 , a_3 функции преобразования (1) и определена градуировочная характеристика.

Использование статической характеристики ТПП (см. вып.1) в опытных образцах спирометров, разработанных и изготовленных в НТУ «ХПИ» по заказу фирмы «РАДМИР» ДП АО НИИРИ оказалось возможным благодаря реализации системы обработки информации на базе микроконтроллера.

Дальнейшие экспериментальные исследования проводились с целью определения точности полученной градуировочной характеристики ТПП. На рис. 3 приведены относительные отклонения значений расхода, измеренных ротаметрами, от значений, полученных с помощью ТПП по градуировочной характеристике.

Полученная статическая функция преобразования (1) измерительных турбин данной конфигурации, позволяет измерять расходы с погрешностью, не превышающей 4,5 % в диапазоне измерения от 0,1 до 0,5 л/с, и не более 2 % – в диапазоне от 0,5 до 14 л/с.

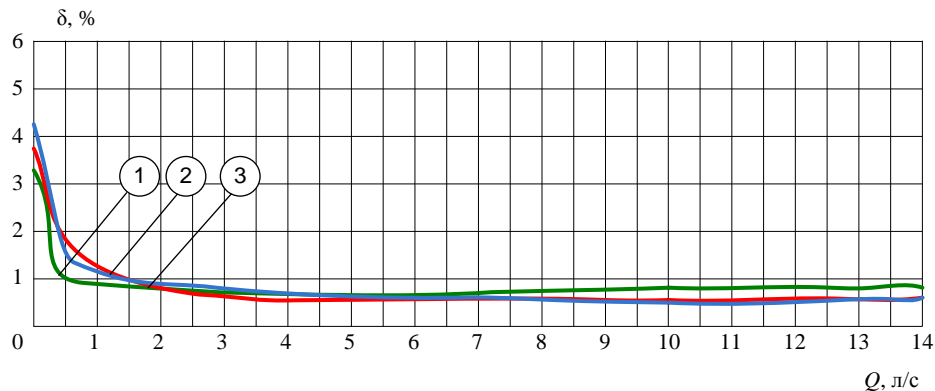


Рис. 3 Отклонения расчетных и экспериментальных данных

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования ТПП с найденной функцией преобразования в портативных спирометрах, поскольку обеспечение измерений с указанной погрешностью соответствует требованиям стандартов [4].

Литература: 1. Спирометрия. Ее техническое обеспечение. Проблемы и перспективы / Сокол Е.И., Кипенский А.В., Король Е.И., Томашевский Р.С. // Технічна електродинаміка. – Київ: Інститут електродинаміки НАНУ, 2008. Тем. вип. Проблеми сучасної електротехніки. – Ч. 3 – С. 119-124. 2. Бобровников Г. Н. Теория и расчет турбинных расходомеров / Г. Н. Бобровников, Л. А. Камышев. - М.: Издательство стандартов, 1978. - 128с. 3 Пат. 55354 Україна, МПК (2009) G01F 3/00. Спірометричний турбінний перетворювач / Є.І.Сокол, А.В.Кіпенський, Є.І.Король, Р.С. Томашевський. – № u201007009; заявл. 07.06.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. №23. 4. Standardisation of spirometry / [M. R. Miller; R. Crapo; J. Natkinson et al.] ; edited by V. Brusasco // Eur. Respiratory Journal. – 26'2005. – 319-338 pp.